

통신해양기상위성 전력계 예비설계

정회원 구자춘*, 김의찬**

COMS Electrical Power Subsystem Preliminary Design

Ja-chun Koo*, Eui-Chan Kim** *Regular Members*

요약

통신해양기상위성의 전력계는 향상된 Eurostar 3000 버전에 바탕을 두고 있다. Eurostar 3000 전력계는 정상상태 또는 하나의 결함에서도 자율적으로 동작하며 높은 수준의 재구성 능력 및 유연성을 제공한다.

본 논문에서는 통신해양기상위성 전력계 예비설계 결과를 소개한다. 통신해양기상위성 전력계는 하나의 배터리, 태양전지어레이, 윙, 전력공급기, 파이로 유닛 및 태양전지어레이 구동기 그리고 릴레이 및 퓨즈 브래킷 들로 구성된다. 통신해양기상위성 전력계는 3 kW의 버스 전력을 제공할 수 있다. 태양전지어레이에는 2개의 태양전지판으로 구성된 전개할 수 있는 윙으로 구성된다. 태양전지는 GaAs/Ge 3중 접합 셀로 선정되었다. Li-ion 배터리는 10개의 직렬 연결된 셀 모듈로 구성되며 각 모듈은 셀 5개가 병렬로 연결된다. 전력공급기는 태양전지어레이 및 배터리와 함께 50 V로 완전 정류된 하나의 전력 버스를 생성한다. 전력 버스는 릴레이 및 퓨즈 브래킷 들에 의해 중앙 집중되어 보호되고 분배된다. 파이로 유닛은 접화 작동기 장치로 전력을 공급한다. 태양전지어레이에는 자세제어 계의 제어로 태양전지어레이 구동기에 의해 회전된다. 전력계의 제어 및 감시는, 특히 배터리, 전력공급기와 탑재 소프트웨어의 결합으로 수행된다.

Key Words : EPS; solar array; battery; power supply regulator; pyrotechnic unit.

ABSTRACT

The COMS(Communication, Ocean and Meteorological Satellite) EPS(Electrical Power Subsystem) is derived from an enhanced Eurostar 3000 version. Eurostar 3000 EPS is fully autonomous operation in nominal conditions or in the event of a failure and provides a high level of reconfigure capability and flexibility.

This paper introduces the COMS EPS preliminary design result. COMS EPS consists of a battery, a solar array wing, a PSR(Power Supply Regulator), a PRU(Pyrotechnic Unit), a SADM(Solar Array Drive Mechanism) and relay and fuse brackets. COMS EPS can offer a bus power capability of 3 kW. The solar array is made of a deployable wing with two panels. One type of solar cells is selected as GaAs/Ge triple junction cells. Li-ion battery is base lined with ten series cell module of five cells in parallel. PSR associated to battery and solar array wing generates a power bus fully regulated at 50 V. Power bus is centralized protection and distribution by relay and fuse brackets. PRU provides power for firing actuators devices. The solar array wing is rotated by the SADM under control of the attitude orbit control subsystem. The control and monitoring of the EPS, especially of the battery, is performed by the PSR in combination with the on-board software.

* 한국항공우주연구원 (jckoo@kari.re.kr), ** 한국항공우주연구원 (eckim@kari.re.kr)

※본 연구는 과학기술부 통신해양기상위성 시스템 및 본체 개발사업 과제 지원으로 수행되었습니다.

I. 서 론

통신해양기상위성 전력계는 항상된 Eurostar 3000 버전에 바탕을 두고 있다. Eurostar 3000 전력계는 정상상태 또는 하나의 결함이 발생하여도 태양기간 및 식기간의 상황에서 자율적으로 완전 정류된 50 V 버스를 제공한다. 또한 높은 수준의 재구성 능력 및 구조(configuration) 및 여분(redundancy)의 설계 덕분에 유연성을 제공한다.

통신해양기상위성 전력계는 하나의 배터리, 태양 전지어레이, 펌프, 전력공급기, 파이로 유닛 및 태양전지어레이 구동기 그리고 릴레이 및 퓨즈 브래킷들로 구성되어 최대 3 kW의 버스 전력을 제공할 수 있다. 기상 탑재체 장착에 따른 설계 영향을 고려하여 극저온 열제어 환경을 위해 단일 태양전지어레이가 원을 선정하였다. 태양전지어레이에는 2개의 전개 할 수 있는 태양전지판으로 구성된다. 태양전지는 GaAs/Ge 3중 접합 셀로 선정되었다. Li-ion 배터리는 10개의 직렬 연결된 셀 모듈로 구성되며 각 모듈은 38.5 Ah 용량을 갖는 셀 5개가 병렬로 연결된다. 전력공급기는 6개의 전력 모듈로 구성되며 태양전지어레이 및 배터리와 함께 50 V로 완전 정류된 단일 전력 버스를 생성한다. 파이로 유닛은 점화 작동기 장치로 전력을 공급하며 작동기로부터 원하지 않는 스위칭을 방지한다. 전력 버스는 릴레이 및 퓨즈 브래킷들에 의해 중앙 집중되어 보호되고 분배된다. 태양전지어레이 구동기는 자세제어계의 제어로 전력 생성을 위해 태양전지어레이를 회전한다. 전력계의 제어 및 감시는, 특히 배터리, 전력공급기와 탑재 소프트웨어의 결합으로 수행된다.

II. 통신해양기상위성 전력버짓

전력 버짓 해석은 전이 궤도 및 궤도상에 대해 각각 해석한다. 이 해석을 통해 태양전지어레이에 대해 임무말기 궤도상에서 5 %의 전력 마진과 배터리에 대해 임무 수명 동안 70 % 이하의 방전량을 확인한다. 궤도상에 대해 전력 버짓을 해석하기 위해 중요하게 가정한 것은 다음과 같다.

- 배터리에 대해서는 하나의 셀 모듈 실패를 고려 하며, 태양전지어레이에 대해서는 하나의 스트링 실패를 고려
- 배터리는 최대 72분 동안의 식기간에서 최대 C/1.5 비율로 방전

- 이미 인증된 유닛들에 대한 전력 소모 값은 측정된 값을 사용
- 유닛들에 대해 10년 궤도상에서 받는 복사량과 노화를 고려
- 열제어계의 전력 소모는 궤도상에서의 열 해석 결과 값 적용
전이 궤도에서 전력 버짓을 해석하기 위해 중요하게 가정한 것은 다음과 같다.
- Proton 발사체로 타력비행단계(cost phase) 6.7h 시간표^[1]를 가정
- 타력비행단계 동안 부분 전개된 태양전지판은 주기적으로 태양을 지향
- 태양전지어레이는 조사 될 때 위성체에 전력 공급
- 배터리 셀 모듈 실패를 고려하지 않음 (임무 초기 2주 이내에서는 발생 않음)
- 순항모드에서 주된 자세는 -Z 축이 태양을 지향
- 최악조건에서 태양으로부터 전력 입력 없이 4시간 동안 원자점 기동
- 열제어계의 전력 소모는 전이 궤도에서의 열 해석 결과 값 적용

표 1은 궤도상에서 임무말기 최악조건 및 정상상태에서의 전력 버짓을 해석한 결과이다^[2]. 태양기간 동안 모든 계절을 고려하였을 때 전력 마진은 임무말기 최악조건에서 15 % 이상이며, 정상 상태에서 16 % 이상이다. 또한 식기간에서 배터리 방전량은 최악조건에서 44 % 이하이며, 정상 상태에서 40 % 이하이다. 그럼 표 1은 전이 궤도에서 배터리 충전 상

표 1. 궤도상에서의 임무말기 전력버짓
Table 1. EOL power budget on station

항목	하지	추분	식기간
Payload	1389W	1405W	1430W
Bus	627W	652W	596W
Total S/C load with harness losses	2030W	2071W	2040W
Battery charge and losses	127W	279W	110W
Power source requirements (W)	2157W	2050W	2150W
SA power(nominal)	2505W	2748W	-
Power margin	16.2%	16.9%	-
SA power(worst case)	2480W	2720W	-
Power margin	15.0%	15.8%	-
Battery DOD(nominal)	-	-	39.4%
Battery DOD(worst case)	-	-	43.9%

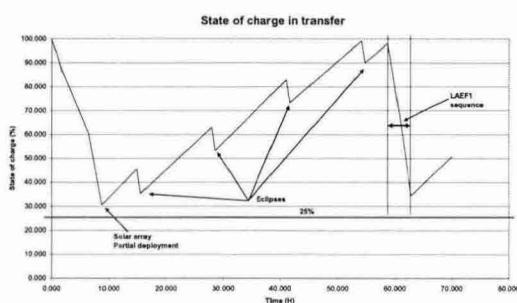


그림 1. 전이 궤도에서 배터리 충전 상태

Figure 1. Battery state of charge profile in transfer orbit

태를 해석한 결과이다^[3]. 배터리의 최소 충전 상태는 태양전지판이 부분 전개된 직후 31 % 이상을 유지한다. 4번의 식 기간 동안 방전량은 각각 10 % 정도다. 또한 배터리는 4번째 궤도 뒤에 완전 충전된다. 4시간의 원지점기동 동안 배터리의 충전 상태는 35 % 이상을 유지한다.

III. 통신해양기상위성 전력계 설계

1. 전력계의 구성

그림 2는 통신해양기상위성 전력계의 구성도이다^[4]. 전력버스는 완전 보호되고 이중 절연된 완전 조절방식의 50 Vdc +/- 1 %이다. 2개의 태양전지판으로 구성된 태양전지어레이 왕은 위성체의 +Y벽에 위치한다. 태양전지는 GaAs/Ge 타입 3중 접합 셀이다. 태양전지어레이는 전이궤도에서 1336 W의 전력을 생성하며 궤도상의 최악조건에서 2480 W의 전력을 생성한다. 배터리는 10S5P 구성의 Li-ion 타입으로 확정하였다. 배터리의 용량은 38.5 Ah 용

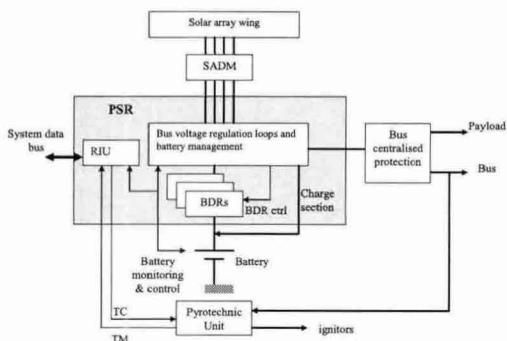


그림 2. 통신해양기상위성 전력계 구성도

Figure 2. COMS EPS block diagram
량의 셀 5개가 연결되어 192.5 Ah이다. 단일 전력

공급기는 태양전지어레이에서 생성된 전력을 조절하기 위해 센터 스위치 및 배터리 충·방전기를 포함하고 있다. 전력공급기는 파이로 유닛으로 원격명령 및 원격측정 접속을 제공한다. 전력공급기는 원격접속 유닛인 RIU를 통해 시스템 데이터 버스에 연결된다. 전력버스는 전력공급기 외부에 위치한 중앙집중 퓨즈로 구성되어 보호된다. 위성컴퓨터에 탑재된 전력계 소프트웨어에 의해 배터리의 충전관리 및 상태가 점검된다.

2. 태양전지어레이 구성

그림 3은 전개된 태양전지어레이 왕 구성도이다. 태양전지어레이에는 태양전지판의 반사효과가 기상 탑재체의 극저온 열제어에 미치는 영향을 방지하기 위해 기상 탑재체가 위치하는 반대 방향에 단인 왕으로만 구성되어 있다. 왕은 2개의 태양전지판, 요크, 고정 및 전개장치, 하니스, 전개 측정 마이크로스위치, 온도 측정 센서, 토크 측정 센서 및 바깥쪽 판넬에 위치한 태양센서로 구성되어 있다. 태양전지어레이 왕의 전기적 구성은 7개의 메인 스트링 군 및 1개의 충전 스트링 군으로 이루어 진다. 메인 스트링 군은 14개, 15개 및 16개의 스트링이 병렬로 연결된다. 충전 스트링 군은 11개의 스트링이 병렬로 연결된다. 1개의 스트링은 28개의 GaAs/Ge 셀들이 직렬로 연결된다. 전이궤도 동안 태양전지어레이에는 바깥쪽 판넬이 전개된 상태로 3축 제어를 한다.

3. 배터리 구성

배터리는 기계적 지지나 열제어 측면에서 모두 위성체와 독립적일 수 있는 설계 및 독립적인 조립 진행과 위성체의 조립통합 시험시에 용이한 틸부착을 위해 모듈 형상으로 설계된다. 그림 4는 배터리 모듈 형상이다. 배터리 모듈은 일종의 랙 형태로 +Y축 벽 하단에 장착되며, 상단에 장착된 컨넥터 브래킷을 통해 위성체와 전기접속이 이루어진다.

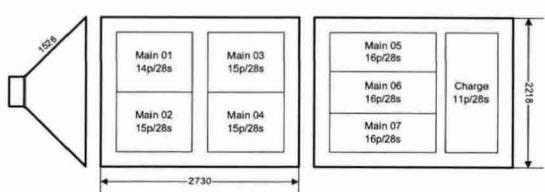


그림 3. 전개된 태양전지어레이 왕 구성도

Figure 3. Deployed solar array wing configuration

그림 5는 배터리 기능 접속도이다. 배터리는 히

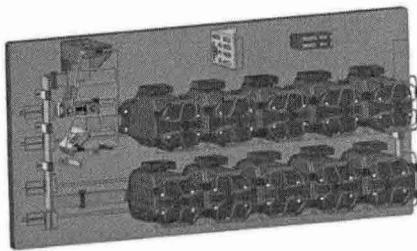


그림 4. 배터리 모듈 형상

Figure 4. Battery module configuration

터, 온도 센서, 배터리 및 셀 모듈 전압 그리고 충방전 전류 센서들을 포함하고 있다. 전력공급기 내부에 위치한 배터리 충방전기는 태양전지 충전 스트링군과 연결되어 배터리를 충전한다. 식기간 및 부하에서 요구되는 전력이 태양전지어레이에서 발생되는 전력을 초과할 때 배터리 방전기를 통해 전력을 공급한다. 구동장치 제어장치(ADE5, Actuator Driver Electronics of 5th generation)는 배터리의 온도 제어 릴레이 스위치의 원격명령 및 원격측정 데이터를 조절한다. 탑재컴퓨터(SCU, Spacecraft Computer Unit)는 배터리 전압을 감지하여 과방전으로부터 배터리를 보호하는 전력계 관리 소프트웨어를 탑재하고 있다.

4. 전력버스 조절

그림 6은 전력 조절도이다. 태양전지어레이이는 메인 및 충전 스트링으로 분리되어 있다. 메인 스트링은 전력조절 선타 스위치와 병렬로 연결되어 전력을

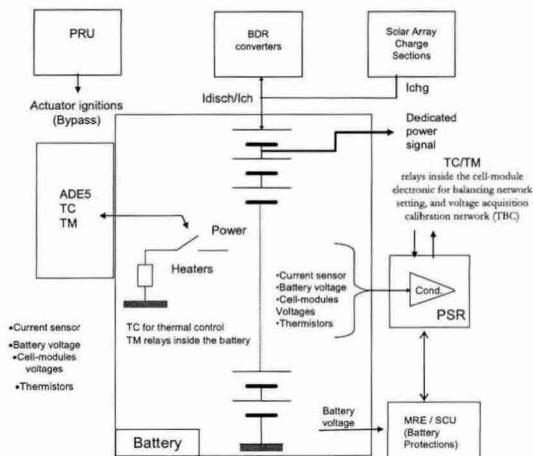


그림 5. 배터리 기능 접속도

Figure 5. Battery functional block diagram

버스에 직접 연결된다. 전력조절 선타 스위치는 메

인 스트링으로부터 입력되는 전력으로부터 전력버스를 조절하고 남는 전력을 소비한다. 충전 스트링은 충전 선타 스위치와 병렬로 연결되어 배터리에 직접 연결된다. 배터리는 방전기를 통해 전력버스에 연결되어 있다. 충전 선타 스위치는 충전 스트링으로부터 입력되는 전력으로부터 배터리 충전 및 전력버스를 조절하고 남는 전력을 소비한다. 버스 콘텐서는 전력버스에서 발생되는 잡음을 제거한다.

5. 전력공급기 구성

그림 7은 전력공급기 구성도이다. 전력공급기는 6개의 전력 모듈로 구성되어 있다. 또한 전력공급기는 6개의 선타 스위치(충전 스위치 1개, 전력조절 스위치 4개 및 과전압 보호 스위치 1개) 및 6개의 배터리 방전기(배터리 방전기 4개 및 배터리 충방전기 2개)를 포함한다. 각 전력 모듈은 1개의 선타 스위치 및 1개의 배터리 방전기로 구성된다.

버스전압 조절 루프는 버스전압을 조절하고 충전 조절 루프는 배터리 충전 전류를 조절한다. 2가지의 루프 중에서 버스전압 조절 루프가 우선함이 높다. 부전력공급기(APS, Auxilliary Power Supply)를 통해 전력공급기의 내부에서 사용되는 전력을 공급한다.

6. 파이로 유닛 구성

그림 8은 파이로 유닛의 기능도이다. 파이로 유닛은 4개의 동일한 보드로 구성된다. 각 보드는 50 Vdc 전력버스로부터 전력을 공급받는다. 각 보드당 20개의 점화장치 구동채널을 가지고 있어 파이로 유닛은 전체적으로 80개의 점화장치 구동채널을 포함한다. 각 구동채널은 점화장치로 전압 및 최대 전류가 제한된 펄스를 제공한다. 파이로 유닛은 보드2에 위치한 버스 조절기로부터 배터리 바이패스 장치로 전력 연결을 제공한다. Li-Ion 배터리의 셀 모듈 바이패스 시스템에 필요한 10개의 점화장치 채널은 배터리에 위치한다. 통신해양기상위성에서 점화장치 채널 할당은 다음과 같다.

- 단락된 추진계 파이로 밸브 10개 : 20개 채널
- 개방된 추진계 파이로 밸브 5개 : 10개 채널
- 통신탑재체 안테나 2개 : 4개 채널
- 가상탑재체 덮개 전개 : 2개 채널
- 태양전지어레이 고정 및 전개장치 6개 : 12개 채널
- 태양전지어레이 MGU(Motor Gear Unit) : 2개 채널

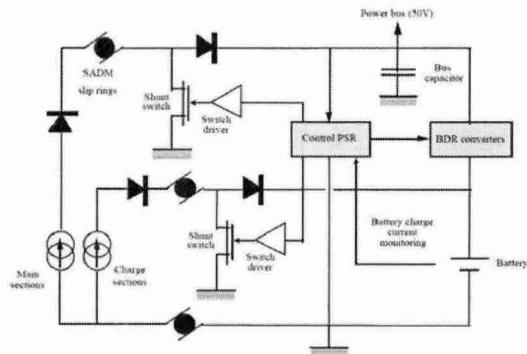


그림 6. 전력 조절도
Figure 6. EPS regulation principle

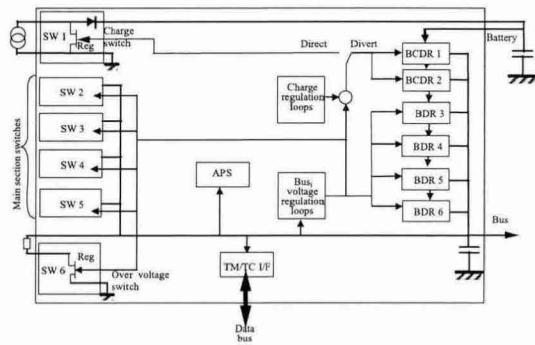


그림 7. 전력공급기 구성도
Figure 7. Power supplu regulator block diagram

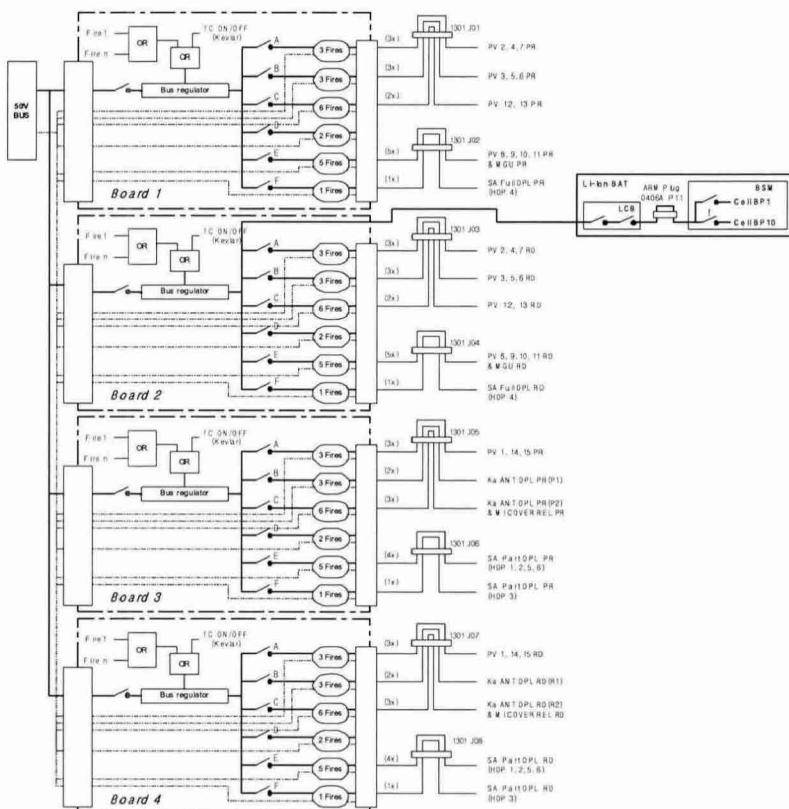


그림 8. 파이로 유닛의 기능도
Figure 8. Functional diagram of the pyrotechnic unit

- Li-Ion 셀 모듈 바이패스 10개 : 0개 채널
Li-Ion 배터리의 셀 모듈 바이패스 소자를 활성화 시키거나 또는 파이로 유닛의 특정 점화장치 채널의 FIRE 릴레이를 구동 시킬 때 이들 원격명령은 병렬로 연결된다. 이 FIRE 릴레이 구동 채널은 파이로 유닛에서 보드2 이외의 보드에 할당한다.

Li-Ion 배터리의 셀 모듈 바이패스 소자를 활성화 때 점화장치는 파이로 유닛의 PREARM 및 ARM 릴레이에 의해 격리된다. 이와 반대로 FIRE 릴레이 구동 채널을 구동시킬 때 셀 모듈 바이패스는 파이로 유닛의 PREARM 릴레이, 배터리의 PREARM 및 ARM 릴레이에 의해 격리된다.

IV. 결 론

통신해양기상위성 전력계의 예비설계를 통해 태양전지에레이, 배터리 및 전력공급기의 용량을 선정하고, 태양전지어레이 구동기 모델을 선정하고, 과이로 유닛의 점화장치 채널 할당을 완료하였다. 또한 전이 케도 및 케도상에서의 전력 버짓 해석을 통해 태양전지어레이에 대해 임무말기 케도상에서 5 %의 전력 마진과 배터리에 대해 임무 수명 동안 70 % 이하의 방전량을 확인하였다.

현재 통신해양기상위성은 상세설계를 수행중에 있다. 상세설계 단계에서는 통신해양기상위성에 적합한 전력 해석 모델들을 수립하여 다양한 전력계 성능 분석들이 수행될 것이다. 또한 전력계 접속들에 대한 호환성 해석도 수행될 것이다.

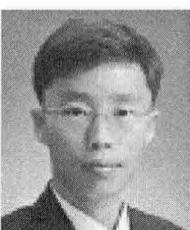
참 고 문 헌

- [1] "Proton Launch System Mission Planner's Guide Revision 6," LKEB-9812-1990, International Launch Services, December 2004.
- [2] O. Guillemet, "COMS Power Budget Analysis Report Issue 03," COMS.BG.00006.T.ASTR, Astrium, October 2005.
- [3] O. Guillemet, "COMS EPS Transfer Analysis Issue 01," COMS.DDD.00028.T.ASTR, Astrium, November 2005.
- [4] J.C. KOO, "COMS EPS Description Issue 02," COMS.DDD.00008.T.ASTR, KARI, October 2005.

저 자

구 자 춘(Ja-Chun KOO)

정회원

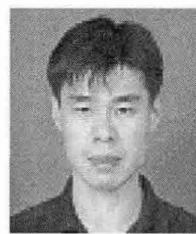


1993년 2월 : 경북대학교 전자
공학과 졸업
1995년 8월 : 경북대학교 전자
공학과 석사
2000년 3월~현재 : 한국항공
우주연구원

<관심분야> 전력전자공학, 전자공학, 전자파양립성
공학

김 의 찬(Eui-Chan KIM)

정회원



1995년 2월 : 충남대학교 전기
공학과 졸업
1998년 2월 : 충남대학교 전기
공학과 석사
2000년 3월~현재 : 한국항공
우주연구원

<관심분야> 전력전자공학, 전자파양립성 공학